

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung****Aktenzeichen:**

10 2004 051 506.9

Anmeldetag:

21. Oktober 2004

Anmelder/Inhaber:PRÜFTECHNIK Dieter Busch AG,
85737 Ismaning/DE**Bezeichnung:**Vorrichtung und Verfahren zur Ortung von
Gegenständen oder zur Erkennung von
Defekten an solchen**IPC:**

G 01 N, G 01 V

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 10. Oktober 2005
Deutsches Patent- und Markenamt

Der Präsident

Im Auftrag

Wallner



Vorrichtung und Verfahren zur Ortung von Gegenständen oder zur Erkennung von Defekten an solchen

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren, welches sowohl für die Ortung von metallischen Gegenständen z.B. im Erdreich geeignet ist, als auch zur Erkennung von Defekten an Gegenständen verwendet werden kann. Insbesondere kann die Erfindung zur Erkennung von Defekten an metallischen Gegenständen, und hier insbesondere an ferromagnetischem Halbzeug oder Fertigprodukten verwendet werden.

Ähnliche Vorrichtungen und Verfahren dieser Art sind seit längerer Zeit bekannt, es besteht aber weiterhin die Aufgabe, höherwertige tragbare Meßgeräte der gattungsgemäßen Art zu schaffen, insbesondere solche auf Basis einer Wirbelstrom-Meßtechnik, oder auf Basis Ultraschall-Messtechnik oder artverwandter Meßtechniken.

Aufgabe ist es somit, ein Gerät der gattungsgemäßen Art bereitzustellen, für welches der erforderliche Aufwand zu dessen Herstellung signifikant reduziert ist, und welches gleichzeitig - möglichst noch bei verringertem Energiebedarf - präzisere und zuverlässigere Messungen ermöglicht.

Die vorliegende Erfindung löst das anstehende Problem nach Maßgabe der Merkmale des bzw. der unabhängigen Patentansprüche. Ein wichtiger Aspekt der Erfindung beruht auf der Erkenntnis, daß es möglich ist, bislang ungenutzte Signalquellen entweder alleine oder im Zusammenspiel mit an sich bekannten und nach dem Stand der Technik verwendeten Signalquellen zu verwenden.

Die erfindungsgemäße Vorgehensweise sieht dazu ein als innovativ betrachtetes erweitertes Demodulationsverfahren vor, welches sich von einem einfachen Gleichrichtungsverfahren in erheblicher Weise und auch von herkömmlichen Synchrodemodulationsverfahren signifikant unterscheidet. Im übrigen kann das Demodulationsverfahren in diesem Zusammenhang auch für die Auswertung einer stark reduzierten Teilmenge der verfügbaren Informationen verwendet werden. Es kann unabhängig davon mit einem innovativen adaptiven Filterverfahren kombiniert werden.



Das Demodulationsverfahren kann im wesentlichen als ein solches für amplitudenmodulierte Signale aufgefasst werden. Solche treten bekanntermaßen bei herkömmlichen Radio/Rundfunksignalen auf. Wie hier bevorzugt vorgesehen, kann dies z.B. auch bei der Wirbelstrom- oder Ultraschallprüfung an industriell gefertigten Prüflingen der Fall sein. Insofern wird für den erfindungsgemäßen Prozess der Demodulation die Existenz eines Trägers vorausgesetzt, zumindest dessen Rückgewinnbarkeit aus beliebigen Signalquellen. -

Herkömmliche Demodulationsverfahren der hier diskutierten Art beschränken sich lediglich darauf, die spektrale Energiedichte und ggf. die Phasenlage im Umfeld der Trägerfrequenz zu ermitteln - insbesondere die der angrenzenden Seitenbänder, welche typischerweise die interessierende und zeitlich variierende Information tragen. Demgegenüber sieht die Erfindung vor, zusätzlich die Energiedichten (sprich Amplituden) im Umfeld zumindest der zweifachen, bei Bedarf auch der dreifachen und ggf. auch der vierfachen Frequenz im Vergleich zur Trägerfrequenz zu ermitteln, allgemein solcher Oberwellen, deren Signal/Rauschverhältnis größer ist als eins. Weiterhin wird gemäß der Erfindung weniger die zeitliche Variation der Phasenlage des Trägers betrachtet, sondern bevorzugt die zeitliche Variation der Phasenlage der genannten Oberwellen, und zwar einzeln oder in Kombination, auch mit der Phasenlage des Trägers. Es werden im Vergleich zu bekannten Verfahren somit eine Mehrzahl an Amplituden- und Phasenwerte erfasst, welche gemäß der Erfindung je nach Anwendungsfall in additiv/subtraktiver Kombination(en) ausgewertet werden können, oder weiterhin auch durch einen oder mehrere Kennwerte, die nach Multiplikation oder Division der ursprünglichen Werte miteinander erhalten werden können. - Es sei an dieser Stelle angemerkt, daß ein herkömmliches z.B. Synchrondemodulationssignal lediglich Amplituden- und Phaseninformationen bereitstellt im Bereich der auf einen Wert Null verschobenen Trägerfrequenzanteile. Eine gleichzeitige Bereitstellung solcher Werte für höhere Frequenzen (d.h. zum Träger gehörende Oberwellen) ist prinzipiell nicht möglich (vgl. Figuren 8 und 9). -

Das erfindungsgemäße Verfahren basiert also darauf, daß unter passenden Voraussetzungen nicht nur der Informationsgehalt des Trägers abgeschöpft und genutzt werden kann, sondern ebenfalls und zusätzlich auch der Informationsgehalt der Oberwellen des Trägers, und zwar in Bezug auf deren zeitlich variablen Amplituden und/oder Phasenlagen. Sofern einige Oberwellen des Trägers sich als eher zeitlich konstant erweisen, kann dieser Sachverhalt zu Vergleichs- und Referenzzwecken genutzt werden. Vorgreifend wird hier auf die Fig. 2

Die Erfindung wird im weiteren anhand der Zeichnung erläutert.

Fig. 1 **das Schema des allgemein verwendeten Meßprinzips**

Fig.2 **gemittelte spektrale Anteile (PSD) eines so erhaltenen Meßsignals**

Fig.3 Spektrale Anteile bei Abwesenheit von Fehlern

Fig.4 Spektrale Anteile in Gegenwart eines Fehlers

Fig.5 Spektrale Anteile bei Abwesenheit von Fehlern, intermittierende Abtastung

Fig. 6 **Spektrale Anteile in Gegenwart eines Fehlers, intermittierende Abtastung**

**Fig.7 Spektrale Anteile bei Synchrondemodulation, intermitt. Abtastung,
bei Abwesenheit von Fehlern**

**Fig.8 Spektrale Anteile bei Synchrondemodulation, intermitt. Abtastung,
in Gegenwart eines Fehlers**

**Fig.9 Phasenverhalten bei Synchrondemodulation, intermitt. Abtastung,
bei Abwesenheit von Fehlern**

**Fig. 10 Phasenverhalten bei Synchrondemodulation, intermitt. Abtastung,
in Gegenwart eines Fehlers**

- Fig. 11 Phasenverhalten bei Fourierdemodulation, intermitt. Abtastung,
bei Abwesenheit von Fehlern
- Fig. 12 Phasenverhalten bei Fourierdemodulation, intermitt. Abtastung,
in Gegenwart eines Fehlers
- Fig. 13 Auswertungsschema für ein amplitudenmoduliertes Zeitsignal
- Fig. 14 das Schema eines erfindungsgemäßen Gesamtsystems
- Fig. 15 eine Resultatdarstellung, erhalten per fourierdemoduliertem Gesamtsignal
bei Abwesenheit von Fehlern
- Fig. 16 eine Resultatdarstellung, erhalten per fourierdemoduliertem Signal
basierend auf intermittierender Abtastung, bei Abwesenheit von Fehlern
- Fig. 17 dito für fourierdemoduliertes Gesamtsignal
bei beobachtetem Fehler
- Fig. 18 dito für fourierdemoduliertes Signal ermittelt m. intermitt. Abtastung,
bei beobachtetem Fehler

In Fig. 1 ist ein Teil eines Prüflings 13 gezeigt, repräsentiert in Form eines industriellen Halbzeugs (Bramme), samt einem dort vorhandenen und zu detektierenden Defekt 15. Der Prüfling 13 kann sich mit konstanter oder unterschiedlicher Geschwindigkeit (Parameter "v") an einer Teststation vorbei bewegen, welche mindestens eine Sendespule 12 (Symbol: L1) und mindestens eine Empfangsspule 14 (Symbol: L2) enthält. Die mindestens eine Sendespule 12 wird geeignet d.h. nach Maßgabe des Erfindungsgedankens mittels einer im wesentlichen konstanten Wechselspannung (ca. 1 - 1200 kHz, ggf. auch Sonderfrequenzen) bestromt. An der mindestens einen Empfangsspule 14 wird ein Wirbelstromsignal von gleicher Frequenz aber durch Defekt(e) 15 bedingten Amplitudenschwankungen abgegriffen (vgl. Fig. 14 mit einem einzigen Bereich reduzierter Amplitude).

In Fig. 2 werden in halblogarithmischer Darstellung die Spektralanteile ("PSD") eines solcherart erhaltenen und mittels Fouriertransformation gewandelten Signals gezeigt. Die schmalbandige Linie maximaler Intensität ist dem sog. Träger zuzuordnen, der in diesem Falle eine Frequenz 5.000 kHz aufweist. Wie man sieht, ist der DC-Anteil bei der Frequenz 0 kHz wesentlich geringer, und auch geringer als die Intensität der sog. 1. und 2. Oberwelle. Neben den letztgenannten Spektralanteilen sind diverse weitere Linien vorhanden, die sich deutlich von einem bei etwa 0 dB anzutreffenden Basispegel abheben. In dieser Figur wird das Frequenzspektrum wiedergegeben, welches auf einer sehr großen Anzahl von Abtastwerten basiert und welches Signalanteile enthält, die im wesentlichen auf defektfreie Bereiche des untersuchten Prüflings zurückgehen, aber auch diejenigen Signalanteile, die auf einige (in diesem Fall 4 Stück) Defektbereiche des Prüflings zurückzuführen sind.

Fig. 3 repräsentiert einen ähnlichen Sachverhalt wie Fig. 2, jedoch basierend auf einer reduzierten Anzahl von Abtastwerten, welche auf defektfreie Bereiche des untersuchten Prüflings zurückgehen. Die anteiligen Spektrallinien erscheinen daher im Vergleich zu verbreitert. Wie man bereits hier sieht, hat sich das Verhältnis der Intensitäten von 1. Oberwelle zur Trägerlinie und auch dasjenige der 1. Oberwelle zur 2. Oberwelle merklich verändert.

Fig. 4 repräsentiert einen ähnlichen Sachverhalt wie Fig. 2, ebenfalls basierend auf einer reduzierten Anzahl von Abtastwerten, welche nun aber auf einen einzelnen defektiven Bereich des untersuchten Prüflings zurückgehen. Die anteiligen Spektrallinien erscheinen ebenfalls verbreitert, und es wird deutlich, daß sich das Verhältnis der Intensitäten von Trägerlinie, 1. und 2. Oberwelle erneut verändert hat.

Fig. 5 ist mit Fig. 3 zu vergleichen, beruht aber auf einem anderen wichtigen Aspekt der Erfindung, gemäß dem nämlich eine vergleichbare Darstellung mit wesentlich reduziertem Hard- und Softwareaufwand erhalten werden kann, wenn intermittierend Meßwerte erfaßt ("gesampelt") werden. D. h. das gleiche Signal wurde nicht anhand konsekutiv erfaßter Meßwerte ausgewertet, sondern lediglich anhand einer Teilmenge von Abtastwerten. In dem

gezeigten Falle wurde beispielsweise nur jeder 97. Abtastwert ("Sample") ausgewertet. Wie man sieht, ergibt sich ein vergleichbarer, wenn auch reduzierter Informationsgehalt.

Ähnliches gilt für Fig. 6, welche mit Fig. 4 zu vergleichen ist, d.h. auf einer noch weiter reduzierten Anzahl von Abtastwerten beruht, welche hier in direkt vergleichbarer Weise auf einen einzelnen defektiven Bereich des untersuchten Prüflings zurückgehen. Auch in diesem Falle wurde nur jedes 97. Sample zur Signaldarstellung herangezogen. Neben der Trägerlinie sind die Intensitäten der 1. und 2. Oberwelle zu erkennen.

Im Gegensatz dazu zeigt Fig. 7, welche ebenfalls mit Fig. 4 bzw. Fig. 6 zu vergleichen ist, d.h. auf einer noch weiter reduzierten Anzahl von Abtastwerten beruht, folgendes: Bei einer Synchrondemodulation, welche in vergleichbarer Weise auf intermittierend ausgewählten Samples basiert (hier aber jedes 96. Sample erfaßt), wird die Trägerlinie lediglich zu einer Gleichspannungskomponente konvertiert, Informationen zu irgendwelchen Oberwellen sind nachvollziehbar nicht mehr vorhanden, unabhängig davon, ob ein durch einen Defekt verursachtes Signal vorliegt oder nicht.

Dies wird in Fig. 8 gezeigt, welche auch auf intermittierend ausgewählten Samples basiert (ebenfalls nur jedes 96. Sample), die aber auf einen Signalbereich zurückgehen, der für den bereits in Fig. 4 und 6 gezeigten Defekt repräsentativ ist. Neben der Gleichspannungskomponente (bei der Frequenz 0 kHz) sind keine auswertbaren weiteren Spektrallinien vorhanden.

Die zu Fig. 7 und 8 gehörige Phaseninformation auf Basis einer Synchrondemodulation wird sodann in Fig. 9 resp. 10 gezeigt, welche aber nur wenig nutzbar ist. Es wird lediglich wiedergegeben, daß die Phasendifferenzen der Spektralanteile bei Abwesenheit eines Defektes geringer zu sein scheinen als bei aktueller Beobachtung eines Defektes.

Wie aus Fig. 11 ersichtlich, bietet das erfindungsgemäße Verfahren hier nutzbare Vorteile, indem neben der Phaseninformation für den Träger zusätzlich speziell diejenigen für die 1. und 2. Oberwelle dargestellt werden können. Dies gilt auch für "gelückte" Datenerfassung, welche hier wiederum auf beispielsweise jedem 97. genutzten Sample eines Signals basiert, und zwar bei Defektfreiheit des Prüflings. (In der Praxis wird man verständlicherweise auf die Erfassung

von nicht genutzten Samples verzichten und dann bei stark reduzierter Sample-Frequenz lediglich solche Samples erfassen, die der als Beispiel genannten Teilmenge basierend auf jedem 97. Sample. Diese Vorgehensweise ermöglicht unter anderem die Verwendung langsamer, hochauflösender Analog-Digital-Wandler und reduziert darüberhinaus in vorteilhafter Weise den erforderlichen Rechenaufwand).

Demgegenüber zeigt Fig. 12 im Vergleich zu Fig. 11 die Verhältnisse, wenn der Prüfling einen Defekt aufweist. Die gezeigte Gesamtphasenverschiebung ist unbeachtlich und ist einem Startphasenwert zuzuordnen. Wichtig ist vor allem, daß neben der Phasenlage des Trägers eine sehr signifikante Phaseninformation der 2. Oberwelle erkennbar ist; in gewisser Weise auch eine solche in der Umgebung der 1. Oberwelle. Es ist eines der Anliegen der Erfindung, eben diese Phaseninformation in neuartiger Weise (also speziell auch für die Alternative "gelückte" Betriebsweise) zur verbesserten Detektion von Defekten an Gegenständen zu verwenden. In gleicher Weise kann diese Phaseninformation zur verbesserten Detektion von Gegenständen durch batteriebetriebene sog. Metallsuchgeräte herangezogen werden. In diesem Falle ermöglicht die "gelückte" Datenerfassung und Betriebsweise eine sehr willkommene Energieeinsparung.

Bei Auswertung konsekutiv (ohne Lücken) erfaßter Daten ist es sinnvoll, standardmäßige Fouriertransformationen (z.B. per FFT oder per DFT) oder ggf. auch Wavelet-Transformationen zu verwenden. Eine erste Filterwirkung ergibt sich in an sich bekannter Weise dadurch, daß die per Fouriertransformation dargestellten Spektral-Linien eine Breite aufweisen, die umgekehrt proportional ist zur Anzahl der zugrundegelegten Samples (Unschärferelation). Insofern ist es gemäß der Erfindung nützlich, nicht weniger als jeweils 9 geeignete Samples einer Fourier-Transformation zuzuführen, damit neben der Träger-Linie zumindest auch die 1. und die 2. Oberwelle nach Betrag (Intensität) und Phase dargestellt werden können.

Fig. 13 zeigt als Beispiel zu verstehendes Schema die Vorgehensweise bei Anwendung der "gelückten" also intermittierend (bevorzugt äquidistant intermittierend) arbeitenden Datenerfassung. Es möge wie gezeigt per Spule L2 eine über die Zeit "t" bzw. ein zugehöriges Winkelmaß "phi" sinusförmig verlaufende Trägerspannung "U in" erfaßt werden. Diese wird

bei Anwesenheit eines Fehlers kurzfristig modifiziert (vgl. Zeitmaß $4e3$) um danach wieder auf den ursprünglichen Wert anzusteigen. Wie dargestellt, ist es möglich, eine Datenerfassung zu den Zeiten A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O durchzuführen, insbesondere unter Verwendung einer Zusammenschaltung eines sog. A/D-Konverters und eines Sample-and-Hold-Gliedes. Wie gezeigt, möge die Erfassung im zeitl. Abstand entsprechend 420° el. stattfinden, also bei 0° , 420° , 840° , 1260° usw. In an sich bekannter Weise entsteht so ein Abbild sowohl der Trägerspannung als auch der Modulationseinwirkung, vgl. Zeitpunkte K und L, die einen geringeren Spannungswert aufweisen als zu den vergleichbaren Zeitpunkten E und F. Wie ebenfalls an sich bekannt, werden nicht nur die Intensitätsverhältnisse abgebildet, sondern auch die zugehörigen Phasenverhältnisse. Insofern gibt eine Fourier-Transformation, die z.B. die bei C D E F G H I J K vorliegenden neun Spannungswerte verarbeitet, nicht nur einen mittleren Amplitudenwert für die Grundwelle wieder, sondern auch deren Phasenlage. Hierzu ist es ggf. in bekannter Weise erforderlich, die Startphasenlage korrekt in Anrechnung zu bringen. Die abschnittsweise Erfassung von Fouriertransformierten kann somit per Blöcken von z.B. je 9 (oder wesentlich mehr) Samples durchgeführt werden, die sich durch/nach Verschiebung um definierte Winkel-Inkremente, sprich Samplezahl, ergeben. Dem Fachmann sind dabei Verfahren geläufig, die es gestatten, den Rechenaufwand zur Ermittlung abschnittsweiser Resultate gering zu halten, z.B. per FFT im Falle von 8 oder 16 zugrundegelegten Samples pro Block. Wie bereits erwähnt, kann durch eine intermittierend arbeitende Signalerfassung nicht nur erheblich an Hardwarekosten für die zugehörige Elektronik eingespart, sondern auch der erforderliche Rechenaufwand drastisch reduziert werden. In den bereits gezeigten Fig. 5 bis Fig. 12 ist dies z.B. ein Faktor von ca. 100.

Die Bestandteile einer erfindungsgemäßen Gesamt-Systems wird im folgenden anhand der Zeichnung Fig. 14 beschrieben.

Im oberen Teil der Fig. 14 wird in schematischer Weise ein Prüfling 13 in Form eines industriellen Halbzeugs (Bramme) gezeigt samt einem zu detektierenden Defekt 15. Der Prüfling 13 kann sich mit unterschiedlicher Geschwindigkeit (Parameter "v") an einer

Teststation vorbei bewegen, welche mindestens eine Sendespule 12 (Symbol: L1) und mindestens eine Empfangsspule 14 (Symbol: L2) enthält. Die Geschwindigkeit des Prüflings wird mit einem elektronisch wirkenden Geschwindigkeitsaufnehmer 17 erfaßt, welcher entsprechende elektronische Signale abzugeben gestattet.

Neben einem extrem hochauflösendem A/D - Wandler 32 nach derzeit neuester Technologie ist eine Elektronik bzw. Computer 40 mit den Eigenschaften eines Signalprozessors wesentlicher Bestandteil der Erfindung. Ein Counter/Timer-Baustein 44 kann außerhalb des Computers 40 vorgesehen oder in diesen integriert sein. Im Subsystem 60 befindet sich die erfindungsgemäß erforderliche Einrichtung zur Erzeugung von Fouriertransformierten (äquivalent: Wavelet-Transformieren) und eine als Digitalfiltereinheit bezeichnete Vorrichtung mit softwaremäßig definierten Filtersätzen 62. Diese sind ebenfalls vorzugsweise im Computer 40 integriert und können in dedizierter Hardware oder kostensparend lediglich in einer im Computer ausführbaren Software implementiert sein. Wie technisch an sich üblich, kann der Computer 40 nach außen hin an eine Tastatur 60, ein Display 50 und/oder an ein lokales Netzwerk (Bezugszeichen "LAN") bzw. WAN angebunden sein.

Auch im stationären, also unbewegten Zustand des Prüflings 13 erzeugt der Timer 44 ein Zeitsignal hoher Frequenzstabilität. Dieses Zeitsignal kann nach Wunsch bzw. den technischen Erfordernissen in der Frequenz variiert werden und steht typischerweise als Rechtecksignal zur Verfügung, wie dies an sich für einen Timer bekannt ist. Das genannte Rechtecksignal wird auf einen Generator 48' als Vorgabefrequenz geliefert. Der Generator 48' erzeugt daraus entweder ein Rechtecksignal oder ein Sinussignal, bevorzugt mit einstellbarer Amplitude. (Ein Rechtecksignal erzeugt in an sich bekannter Weise ungeradzahlige, hier vorteilhaft verwendbare Oberwellen). Das genannte Signal wird auf einen optional vorgesehenen Kurvenformer KF und einen Leistungsverstärker PA gegeben, welche in einer Einheit 42 zusammengefaßt sein können. Der Leistungsverstärker ist geeignet, die Sendespule 12 zu bestromen. Infolgedessen wird im Prüfling 13 in an sich bekannter Art ein Wirbelstromfeld induziert. Dieses wird von der schematisch gezeigten Empfangsspule 14 - welche nach dem Stand der Technik auch als Differenzspulensatz o.ä. ausgebildet sein kann - registriert und als Wechselspannung ggf. über einen oder mehrere Bandpässe 18' und vorzugsweise über zumindest einen (bevorzugt einstellbaren) Vorverstärker 16 dem bereits erwähnten

nachgeschaltete Digitalfilter 62 weiter modifiziert werden. Dieser Ausgangswert wird unter

A/D-Wandler 32 zugeführt. Dieser besitzt eine Auflösung von typischerweise 18 bit oder besser, bevorzugt 22 bit oder besser. Unter speziellen Voraussetzungen (z.B. bei low-cost Geräten) kommt auch eine Auflösung von 12 bit in Frage, insbesondere wenn ca. je 1000 oder mehr Samples einer Fourier-Transformation zugeführt werden. Der A/D - Wandler ist bevorzugt in der Lage, weit mehr als 500 Analog/Digitalkonversionen pro Sekunde durchzuführen. Wie an sich bekannt, resultiert bei Anwesenheit eines Defektes 15 im Prüfling ein modifiziertes Wirbelstromfeld, welches eine in Amplitude und/oder Phase veränderte Wechselspannung in der Empfangsspule 14 induziert.

Optional kann die Erfindung auch mit einem elektronisch wirkenden Geschwindigkeitsgeber 17 kombiniert werden. Dies hat den Vorteil, dass im Vergleich zu derzeit handelsüblichen Geräten eine erhebliche Einsparung an Filterbaustein-Sätzen erzielt werden kann.

Vom elektronisch wirkenden Geschwindigkeitsgeber 17 wird ein Signal abgegeben, welches der Relativgeschwindigkeit des Prüflings 13 gegenüber der Sende/Empfangsspulenkombination 12/14 im wesentlichen proportional ist. Dies Signal ist typischerweise von Rechteckform so daß z.B. pro 5 mm Verfahrweg des Prüflings 13 ein Impuls erzeugt und dem Timer 44 zugeführt wird.

Sofern bei unbewegtem Prüfling 13 kein entsprechendes Geschwindigkeitssignal erzeugt wird, erzeugt der Timer-Baustein 44 ein von seiner programmierbaren Grundfrequenz ganzzahlig heruntergeteiltes, impulsförmiges Triggersignal "TRIG". Ein entsprechendes Beispiel könnte lauten: Grundfrequenz = 500 kHz, ganzzahliger Teiler = 1000, Triggersignalfrequenz daher 500 Hz. Dieses Triggersignal wird dem A/D-Wandler 32 zugeführt und veranlaßt unmittelbar und mit geringstem Phasenjitter eine A/D - Wandlung wie bereits erwähnt. Auf diese Weise können die ermittelten zugehörigen jeweils aktuellen Digitaldaten über Datenleitungen 33 in paralleler oder auch serieller Form dem logischen Eingang des Subsystems 60 zugeführt werden. Dieses erhält ebenfalls vom Timer 44 ein zugehöriges Triggersignal oder zumindest ein logisches Startsignal, berechnet in einem abgeschlossenen Rechengang aus den angelieferten sowie aus gespeicherten, vorherigen Digitaldaten einen neuen Ausgangswert, insbesondere nach Maßgabe der Länge der Fouriertransformierten und ggf. einer im Zeit- oder Frequenzbereich durchgeführten sog. Fensterung. Der Ausgangswert kann durch nachgeschaltete Digitalfilter 62 weiter modifiziert werden. Dieser Ausgangswert wird unter

14

softwaremäßig gesteuerter Einwirkung des Computers 40 weiteren Kriterien oder Mustererkennungen unterworfen, das entsprechende Resultat wird auf dem Display 50 visualisiert oder als aktuelles Statussignal oder Alarmsignal auf ein übergeordnetes Netzwerk (LAN) gegeben.

Sobald durch den Geschwindigkeitsdetektor 17 eine Bewegung des Prüflings 13 detektiert wird, wird der Wert des genannten ganzzahligen Teilers in Abhängigkeit von der registrierten Geschwindigkeit modifiziert, zum Beispiel im Sinne von 100 Hz pro m/sec, so daß bei $v = 10$ m/sec eine Triggerfrequenz von 2000 Hz resultiert, bei $v = 20$ m/sec eine solche von 3000 Hz usw. Diese Zuordnung kann anhand einer Tabelle oder mathematischen Funktion anders definiert sein, typischerweise wird jedoch mit höherer Prüflingsgeschwindigkeit ein höherfrequentes Triggersignal erzeugt. Es versteht sich, daß der Analog/Digitalwandler so beschaffen sein muß, daß er den erzeugten Triggerfrequenzen phasenrein folgen können muß, so daß bei Bedarf eine sog. Sample-und-Hold-Einrichtung vorgesehen werden sollte.

Dieser Mechanismus wird im wesentlichen softwaremäßig vorgegeben und kann dementsprechend ohne große Hardwareänderung an praktische Gegebenheiten angepaßt werden. Die Anpassung kann während des Betriebes an unterschiedliche Meßaufgaben erfolgen. Auf eine solche Weise kann der Aufwand für die erforderlichen frequenzmäßig variierbaren Tief- und Hochpasstufen stark reduziert werden. Wiewohl der Bandpass 18' als separate und zusätzliche Digitalfiltereinheit ausgeführt sein kann, empfiehlt es sich aufgrund des sog. Abtasttheorems, diesen Bandpass bevorzugt mit Mitteln der Analog-Elektronik zu realisieren.

Gemäß der Erfindung ist es aber besonders nützlich, die oben beschriebene Abtastung mit einem festgelegten oder laufend errechneten ganzzahligen Bruchteil der Sendefrequenz phasenrichtig durchzuführen. Das heißt, daß der Abtastwert immer bei genau $(360^\circ/n + \text{const.})$ Phasenlage der Empfangsspannung erfaßt wird, um ein zeitlich äquidistante Samples zu erhalten. - Unter Umständen ist es von Vorteil, neben einem ersten AD-Wandler noch einen

parallel arbeitenden zweiten oder weitere vorzusehen, so daß mehrere AD-Wandler quasi in Tandem arbeiten und jeder für sich eine längere Konversionszeit in Anspruch darf.

Gemäß der Erfindung ist es im Prinzip auch möglich, mit nicht-äquidistanten Abtastwerten zu arbeiten, was jedoch den Rechenaufwand erheblich erhöht (Lomb-Verfahren). Insofern bietet es sich an, bevorzugt mit "2 hoch n" ganzzahligen Abtastungen zu arbeiten, um ggf. die Vorteile der sogenannten schnellen Fouriertransformation (FFT) zu nutzen. Um die Abtastrate nach Maßgabe einer anderen physikalischen Variable (speziell der sog. Liniengeschwindigkeit) zu ändern, bietet die Verwendung der normalen diskreten Fouriertransformation jedoch mehr Freiheiten und Gestaltungsmöglichkeiten. - Um Energie einzusparen, kann gemäß der Erfindung so verfahren werden, daß die Sendespule lediglich einige wenige Vollwellen vor Erfassung des Abtastwertes bestromt wird (um einen Einschwingvorgang zu realisieren) und sogleich nach Erfassung des Abtastwertes zu einem passend gewählten Zeitpunkt stromlos geschaltet wird, wobei ein technisch vorteilhaftes Ausschwingverhalten der Sendespule angestrebt wird. Dies ist insbesondere für batteriebetriebene, portable Geräte von Vorteil.

Weitere Gestaltungsmöglichkeiten ergeben sich dadurch, daß auch die Sendefrequenz in gewissem Umfange modifiziert werden kann, indem diese durch ganzzahlige Teilung von einer wesentlich höherfrequenten Zeitbasis abgeleitet wird. Insbesondere ist es von Nutzen, eine sinusförmige Sendespannung für Spule L1 in an sich bekannter Weise mittels eines softwaregesteuerten Zählers und einer zugeordneten digitalen Sinus-Tabelle zu erzeugen, sei es per D/A-Wandler oder per Pulscod-Modulation. Selbstverständlich ist es kostengünstiger, eine frequenzvariable Rechteckspannung bereitzustellen, welche wie erwähnt den zusätzlichen Vorteil besitzt, die interessierenden Oberwellen in signifikanter Intensität ohne Mehrkosten zu liefern.

In Fig. 15 bis 18 werden einige Ergebnisse für visuelle Auswertung gezeigt, wie sie gemäß der Erfindung anhand der bereits den Fig. 3 bis 6 sowie 11 und 12 zugrundegelegten Informationen gewonnen wurden. Es werden in mehrfacher Relation und Verkettung die Daten des Trägers, der 1. und der 2. Oberwelle verwendet.

Fig. 15 beruht dabei auf der fortlaufenden Auswertung von Fouriertransformationen, die anhand all jener Samples durchgeführt wurden, die auch für Fig. 3 herangezogen wurden, d.h. ohne Defekt eines Prüflings, und während eines kürzeren Zeitintervalls.

Fig. 16 zeigt eine vergleichbare Darstellung, basierend auf den auch zu Fig. 5 und 11 gehörigen Daten ("gelückte" Datenerfassung). Man erkennt die zu Fig. 15 vergleichbare Signalform von etwa mondsichelartiger Kontur, wenn auch mit reduziertem Informationsgehalt.

Zum Vergleich zeigen Fig. 17 und 18 den Fall bei defektiver Prüflings-Oberfläche, ohne bzw. mit "lückender" Datenerfassung (Distanzzahl = 97 Samples). Die Einhüllende der dargestellten Linien ist nunmehr von deutlich gestreckter Gestalt und wesentlich anders als im Falle der Fig. 15 und 16. - Es versteht sich, daß die Figuren 15 bis 18 lediglich als Beispiel zu verstehen sind, wie erfindungsgemäß errechnete Gut- bzw. Schadens-Resultate visualisiert werden können. Die Anzahl der Visualisierungsmöglichkeiten im Vergleich zu bislang bekannten Darstellungsweisen für Prüfverfahren der hier betrachteten Art ist vergleichsweise umfangreich und kann aufgrund des fast vollständig digitalen Charakters der vorgeschlagenen Fehlererkennung in annähernd beliebiger Weise modifiziert werden. - Es versteht sich, daß für ein automatisiertes Fehlerbehandlungsverfahren die erfindungsgemäß gewonnenen Datensätze und Informationen einer zweckmäßig geeigneten Mustererkennungseinrichtung zugeführt werden müssen, um externe Hilfsmittel wie Fehler-Markierungseinrichtungen, Sägen usw. automatisch ansteuern zu können. - Die erfindungsgemäßen Vorrichtungen und Verfahren können mit diversen Sensor-Systemen verwendet werden, insbesondere solchen auf Ultraschall- und Wirbelstrom-Basis, aber auch mit sog. EMAT - Systemen.

Patentansprüche:

1.

Verfahren zur Erkennung von Defekten an Gegenständen, bei welchem unter Rechneransteuerung gleichzeitig die wechsellspannungsmäßige Bestromung mindestens einer Sendespule durch ein Trägersignal bewirkt wird, mittels mindestens einer Empfangsspule ein im wesentlichen amplitudenmoduliertes Empfangssignal empfangen wird, und wobei weiterhin eine Demodulation nicht nur des im Empfangssignal enthaltenen Trägersignals mittels Betrags- und Phasenbildung durchgeführt wird, sondern auch eine Demodulation der im Empfangssignal enthaltenen Oberwellen des Trägers, ebenfalls mittels jeweils zugehöriger Betrags- und Phasenbildung, und zwar unter Verwendung eines Fourier- oder Wavelet-Transformationsverfahrens.

2.

Verfahren nach Anspruch 1, wobei zeitlich aufeinanderfolgende Fourier- oder Wavelet-Transformationen durchgeführt werden, welche auf Mengen von jeweils mindestens 5 Samples aus unterschiedlichen Zeitabschnitten beruhen.

3.

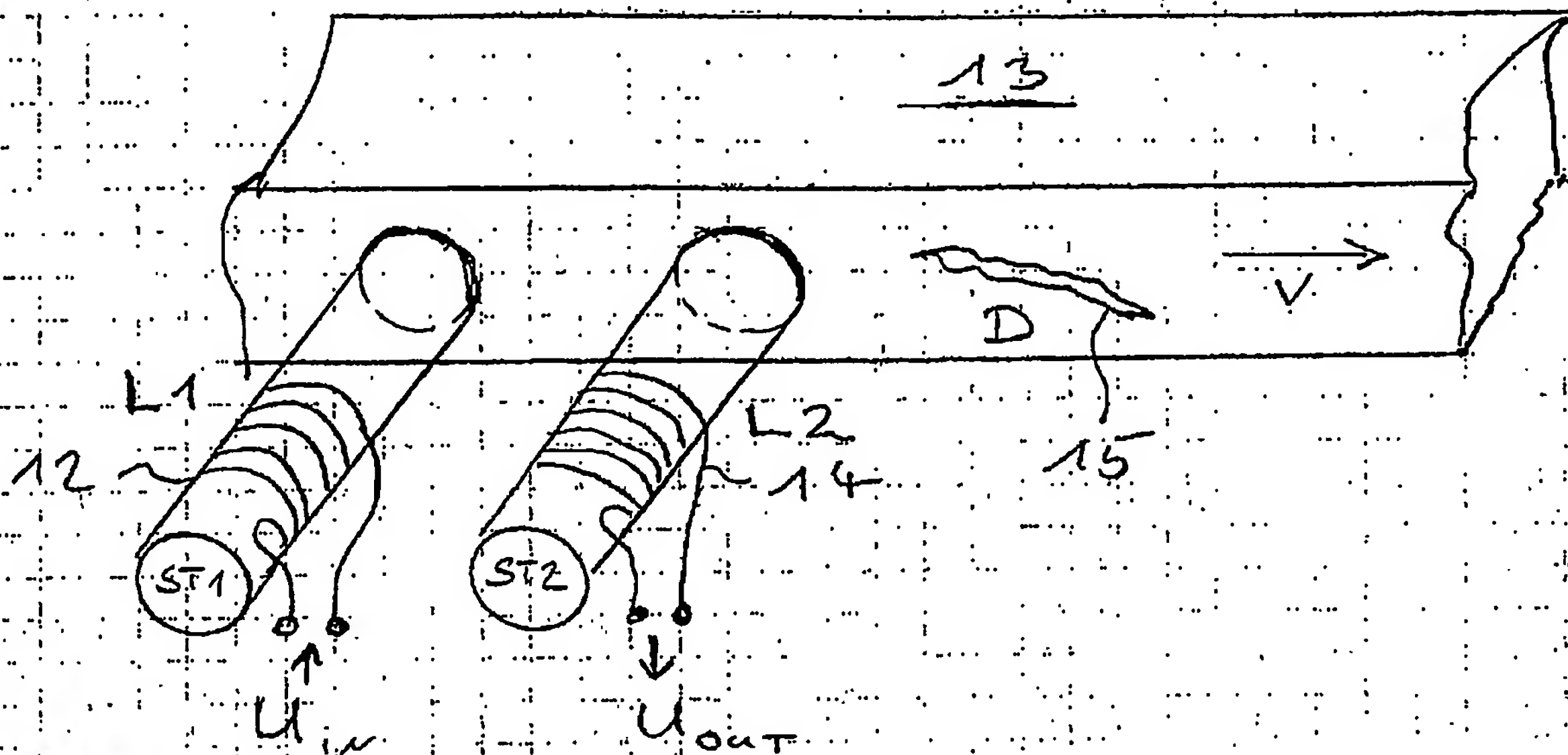
Verfahren nach Anspruch 2, bei dem Folgen von zeitlich einander überlappenden Sample-Mengen verwendet werden.

4.

Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem pro Vollwelle des Trägersignals mindestens 2 Samples erfaßt und verarbeitet werden.

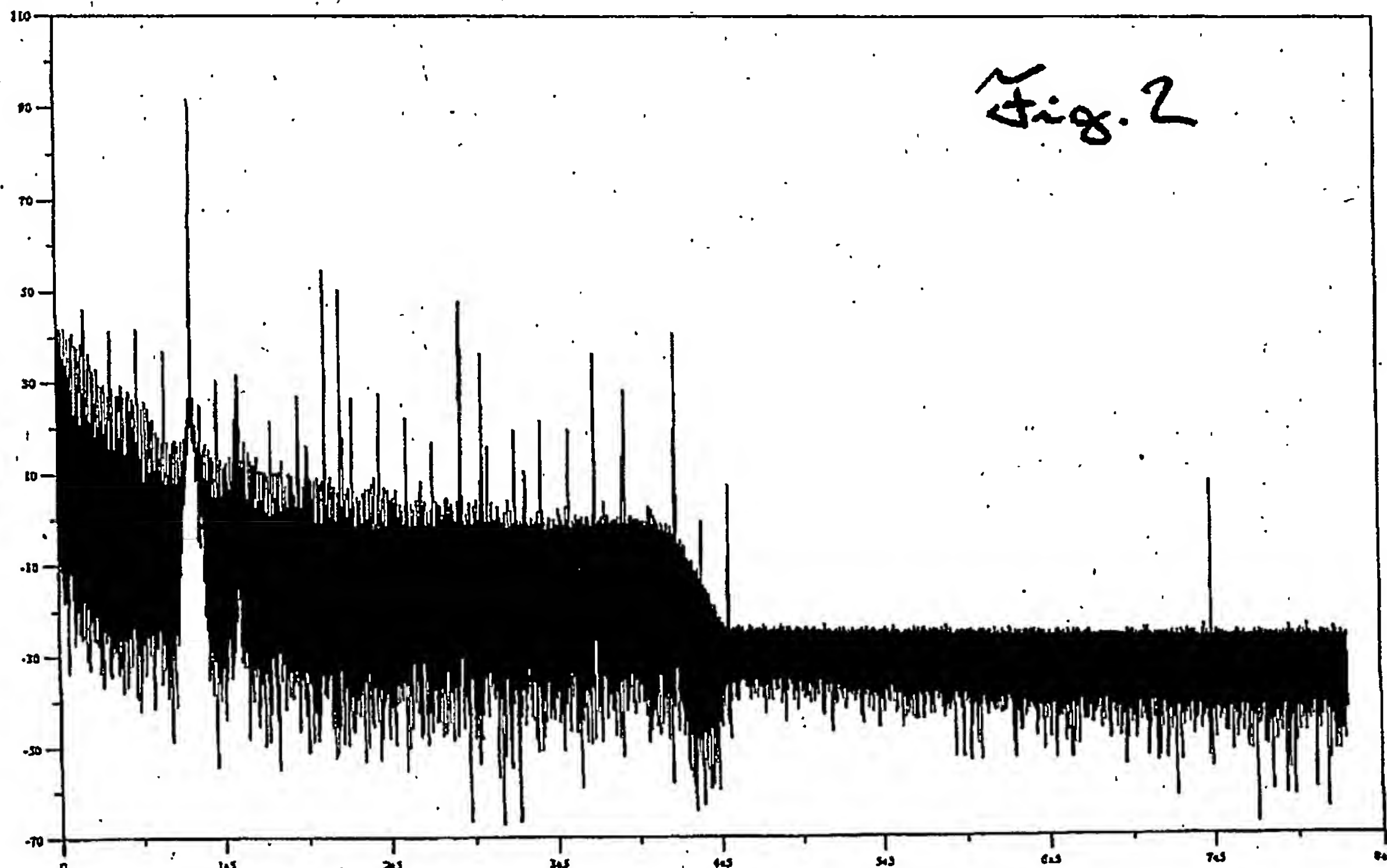
5.

Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem eine lückende Datenerfassung im Sinne eines Undersamplings erfolgt.



(e.g.
100 KHz)

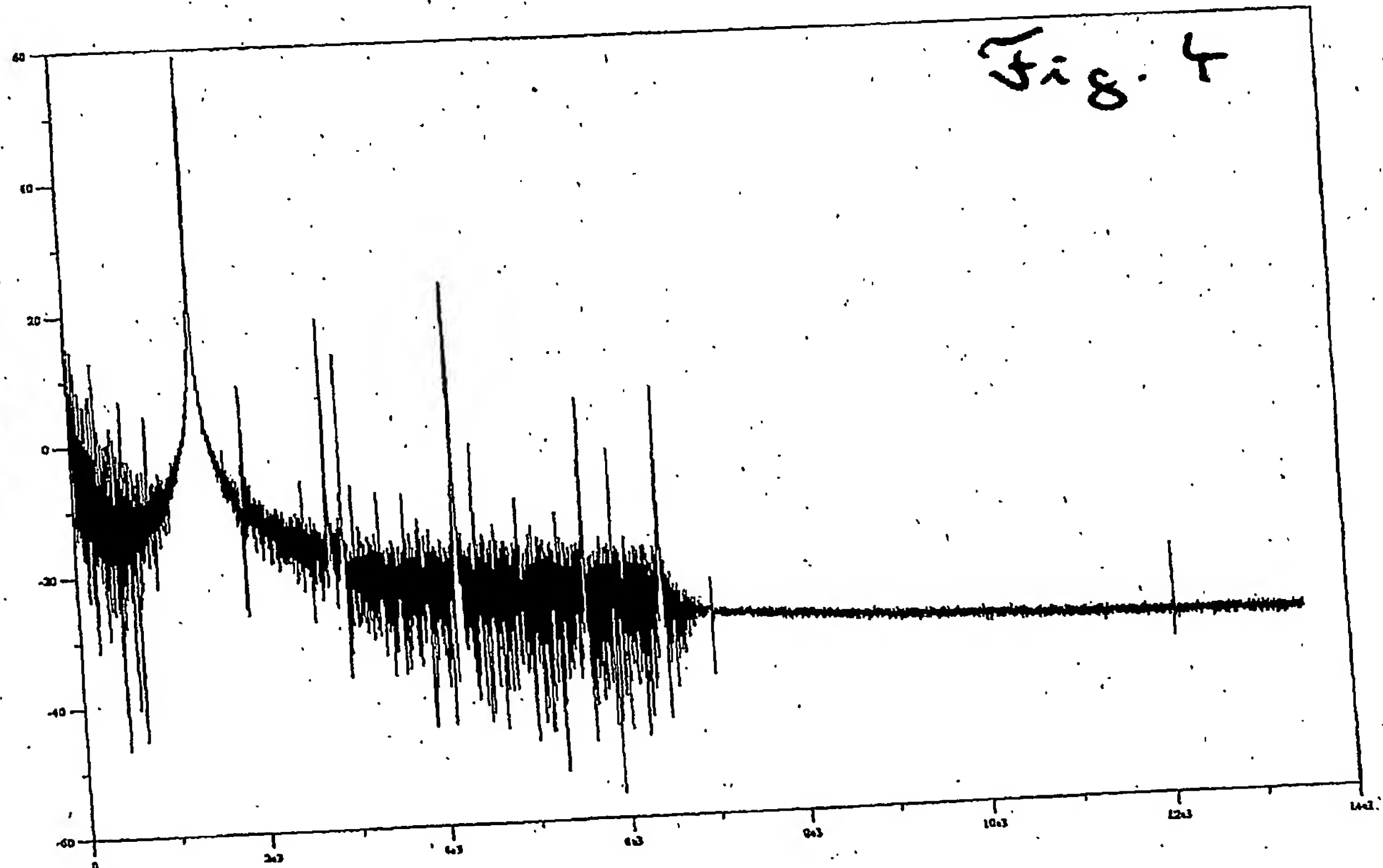
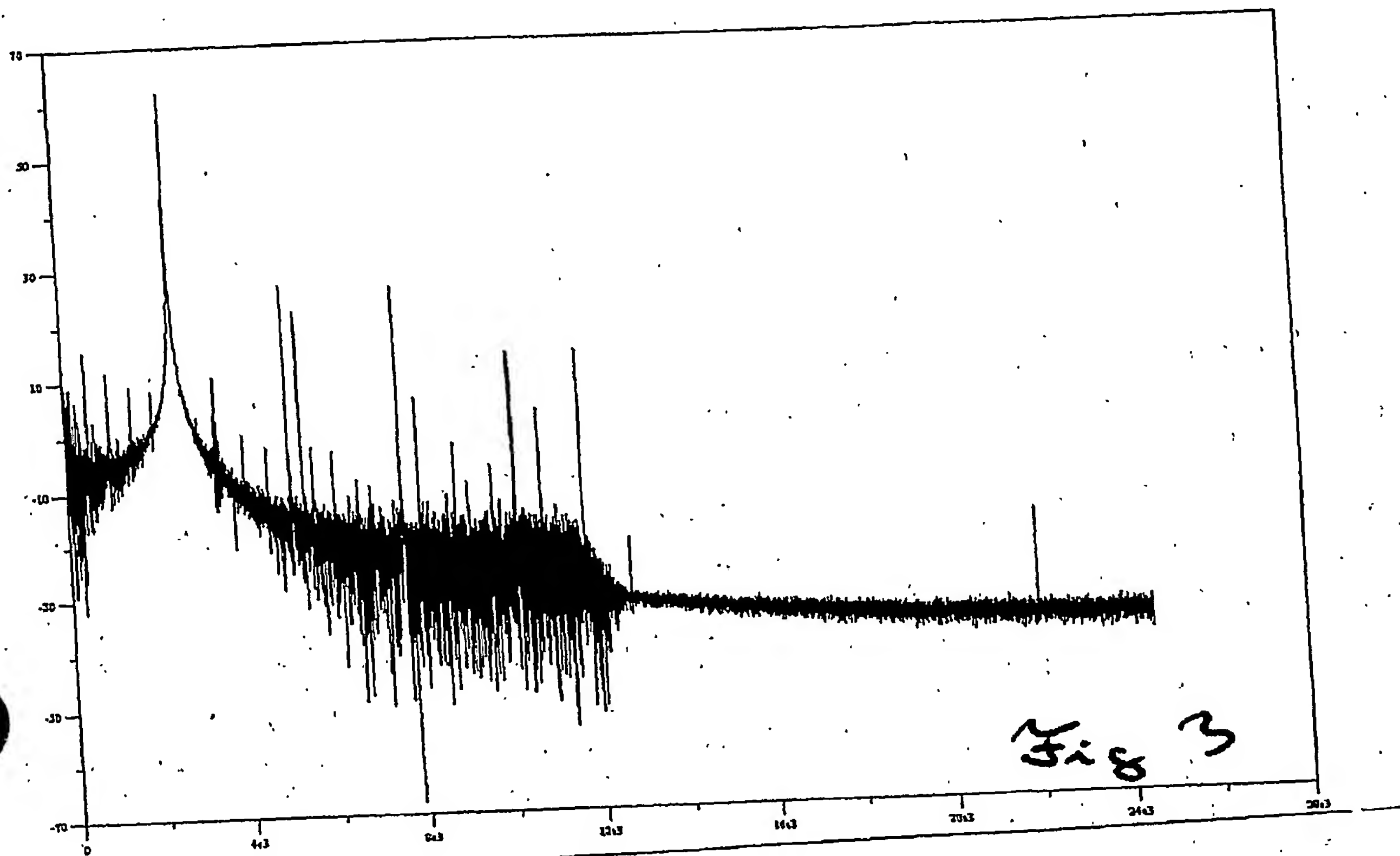
Fig. 1

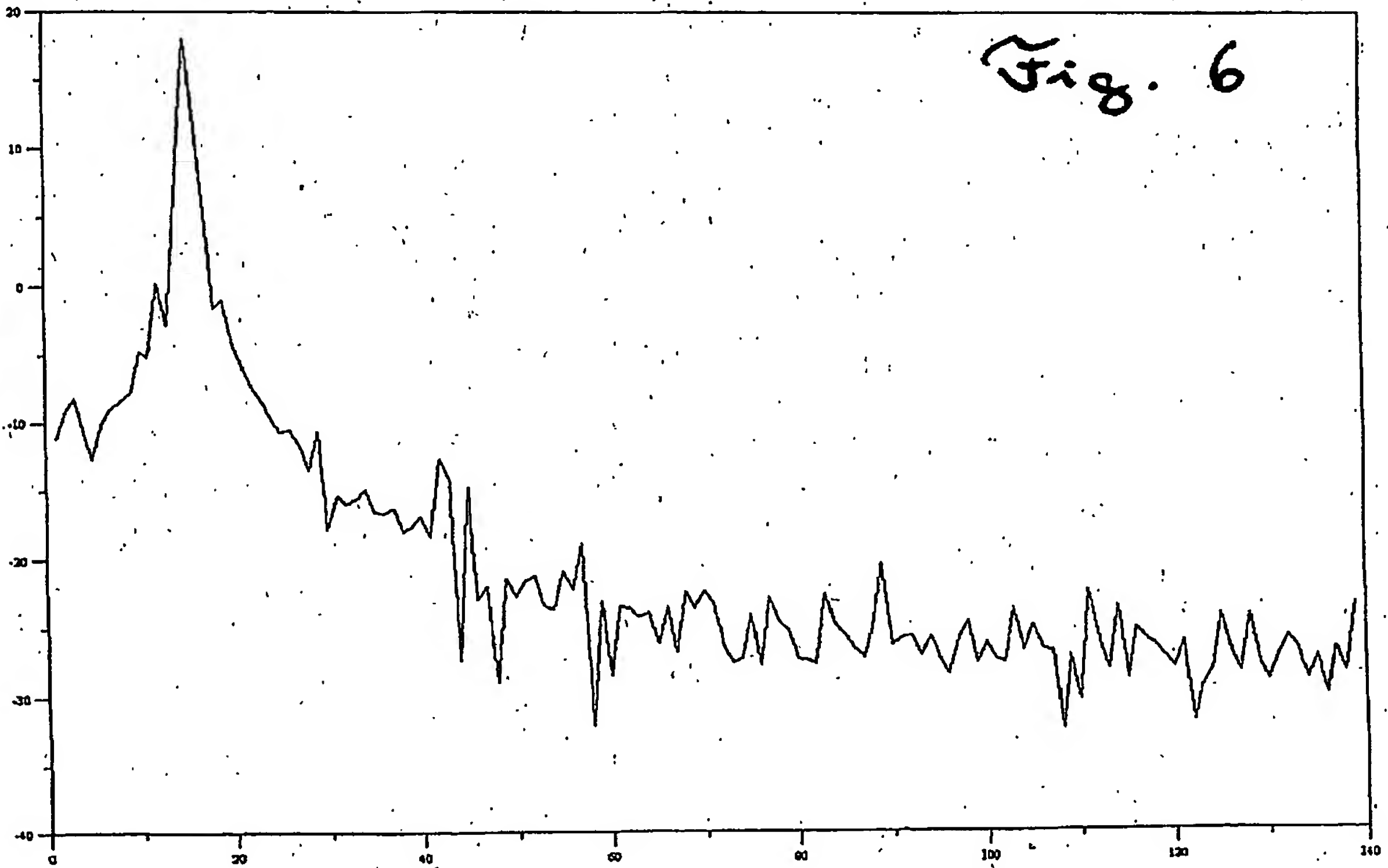
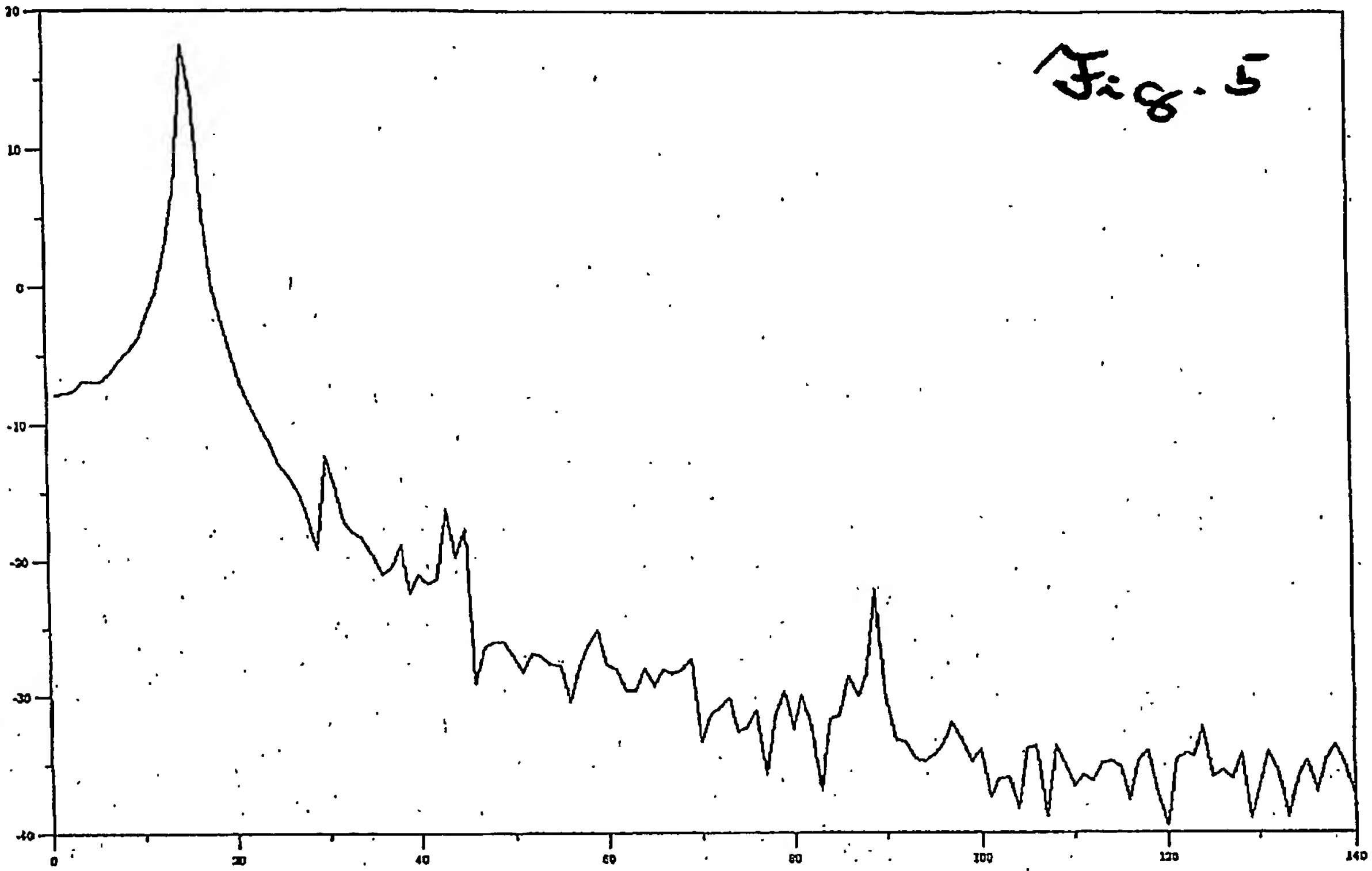


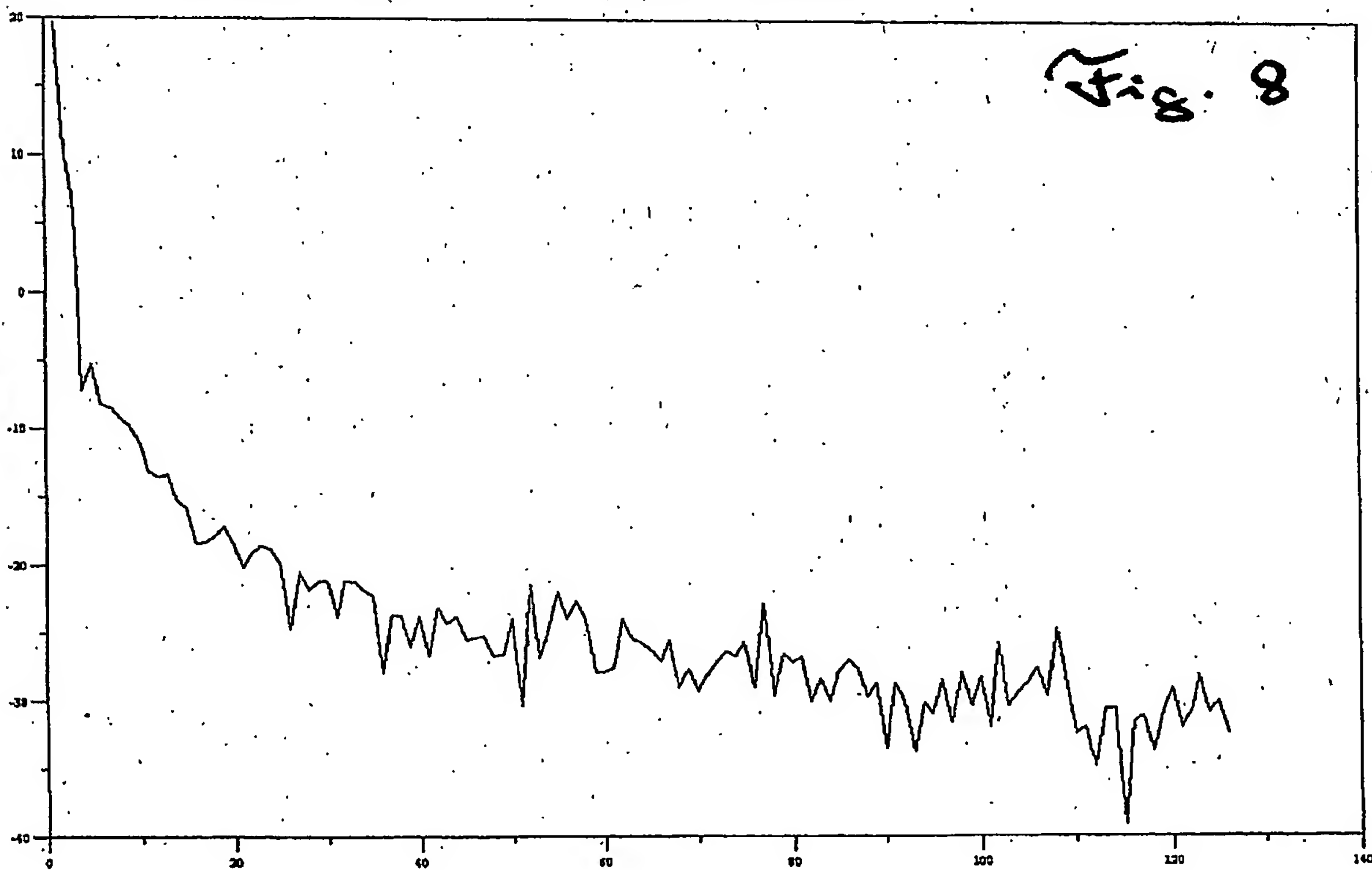
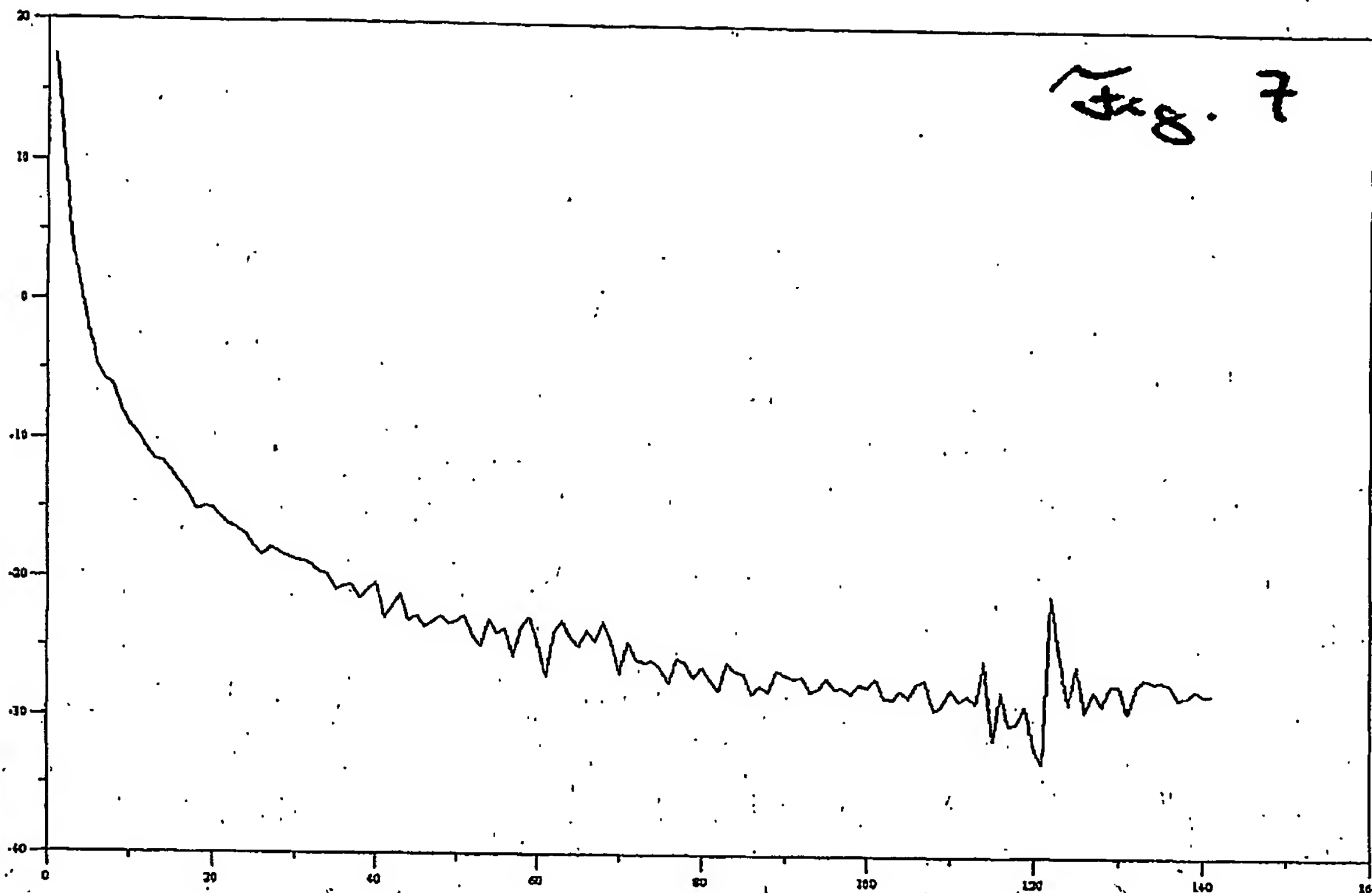
21-Okt-04 17:03

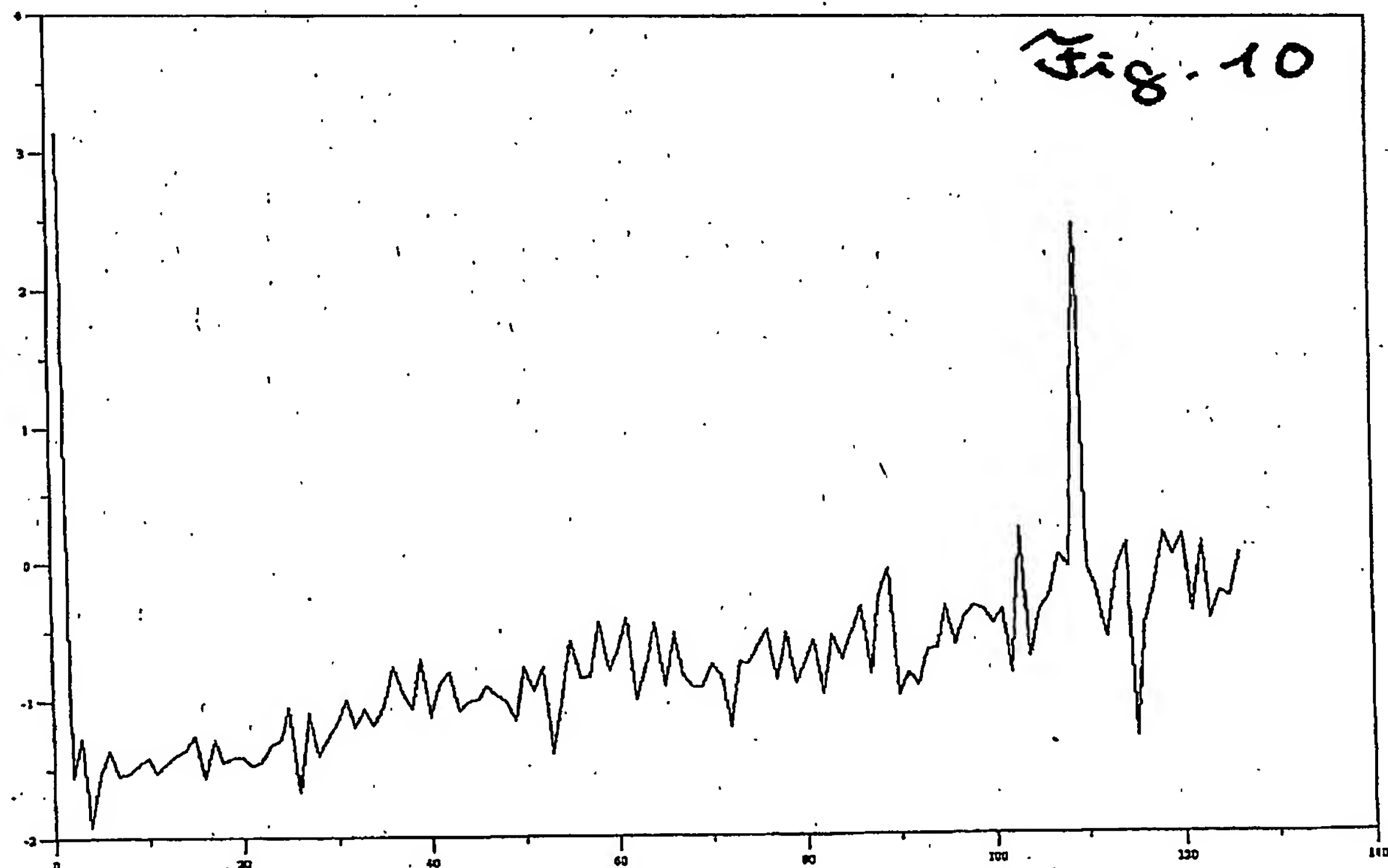
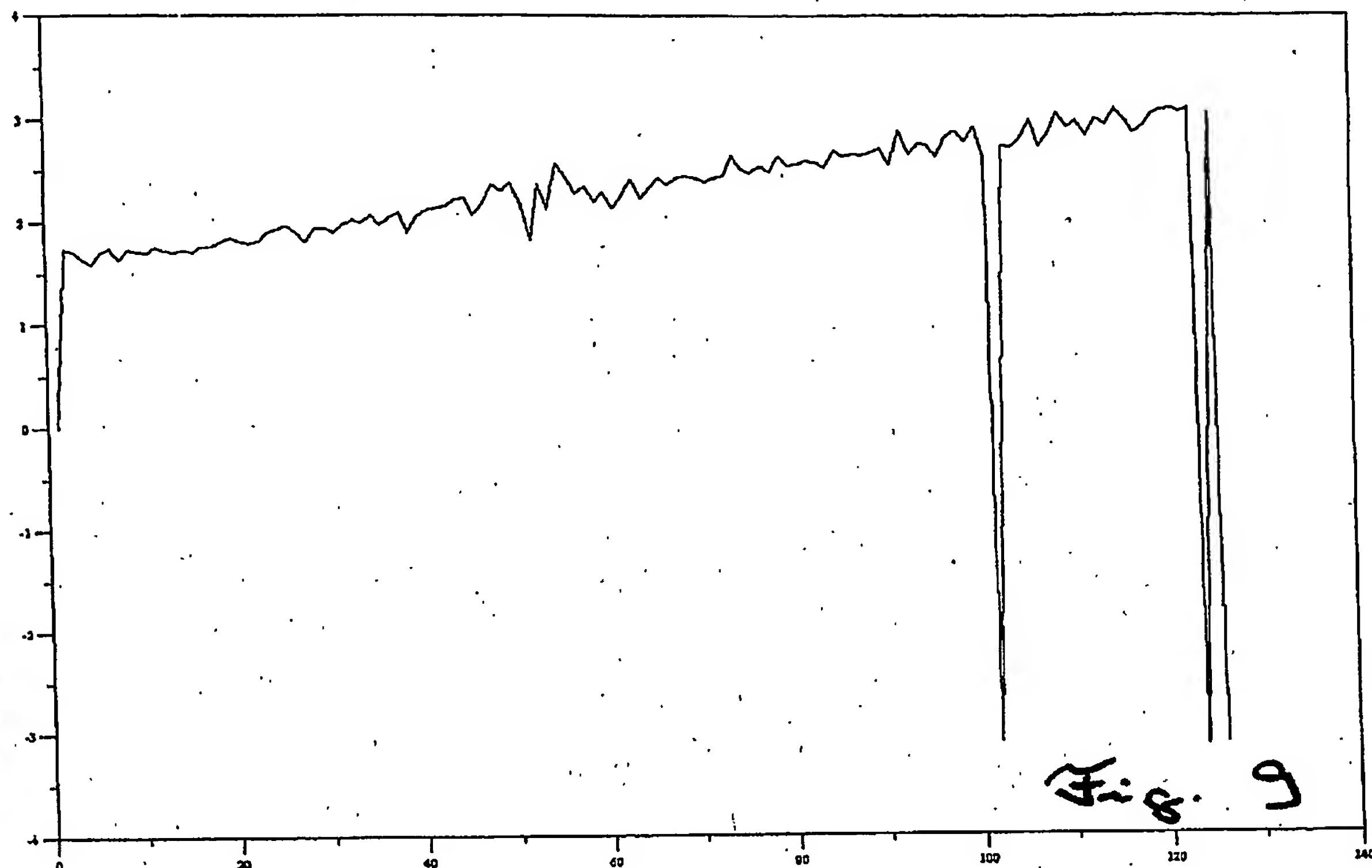
S.08

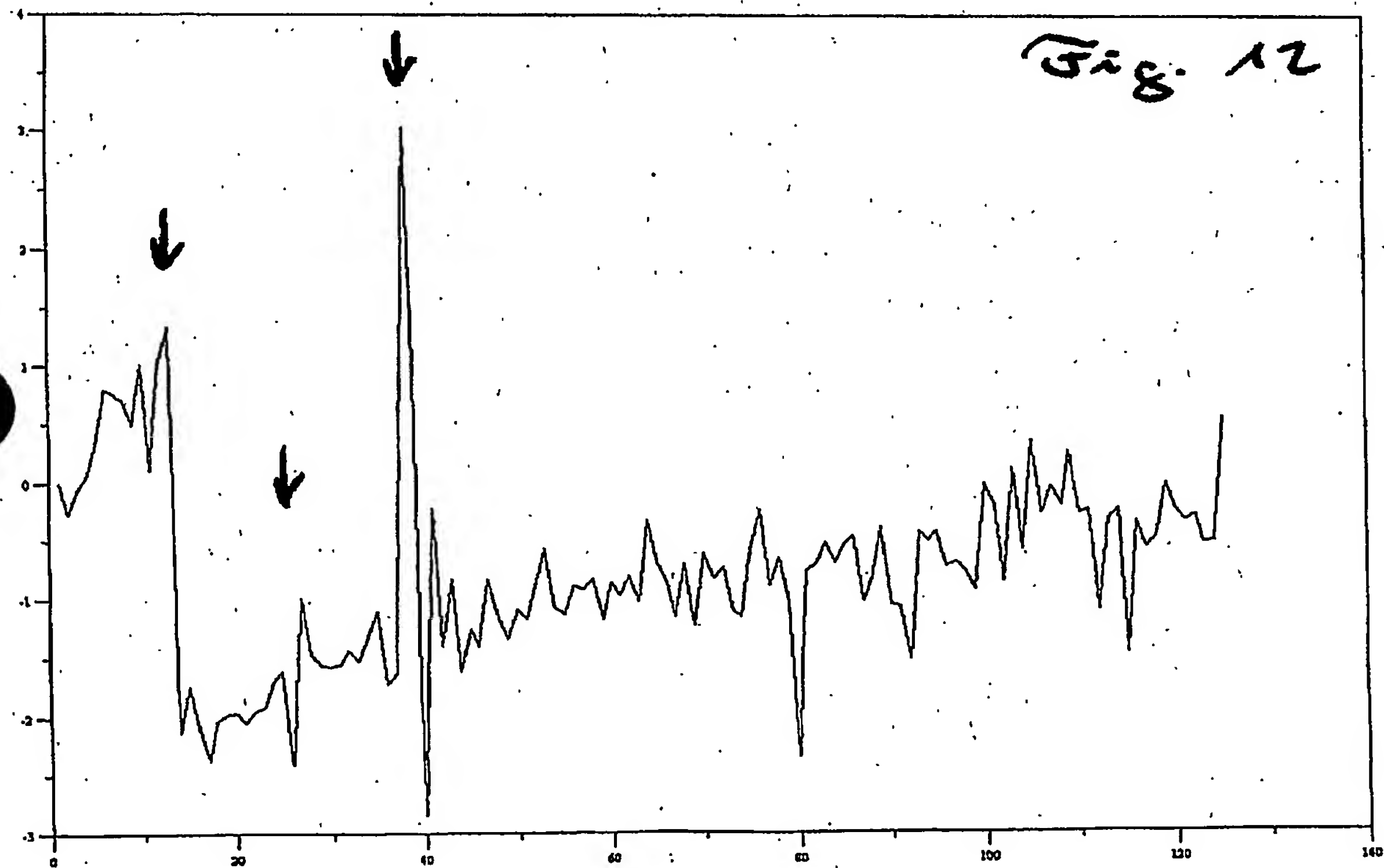
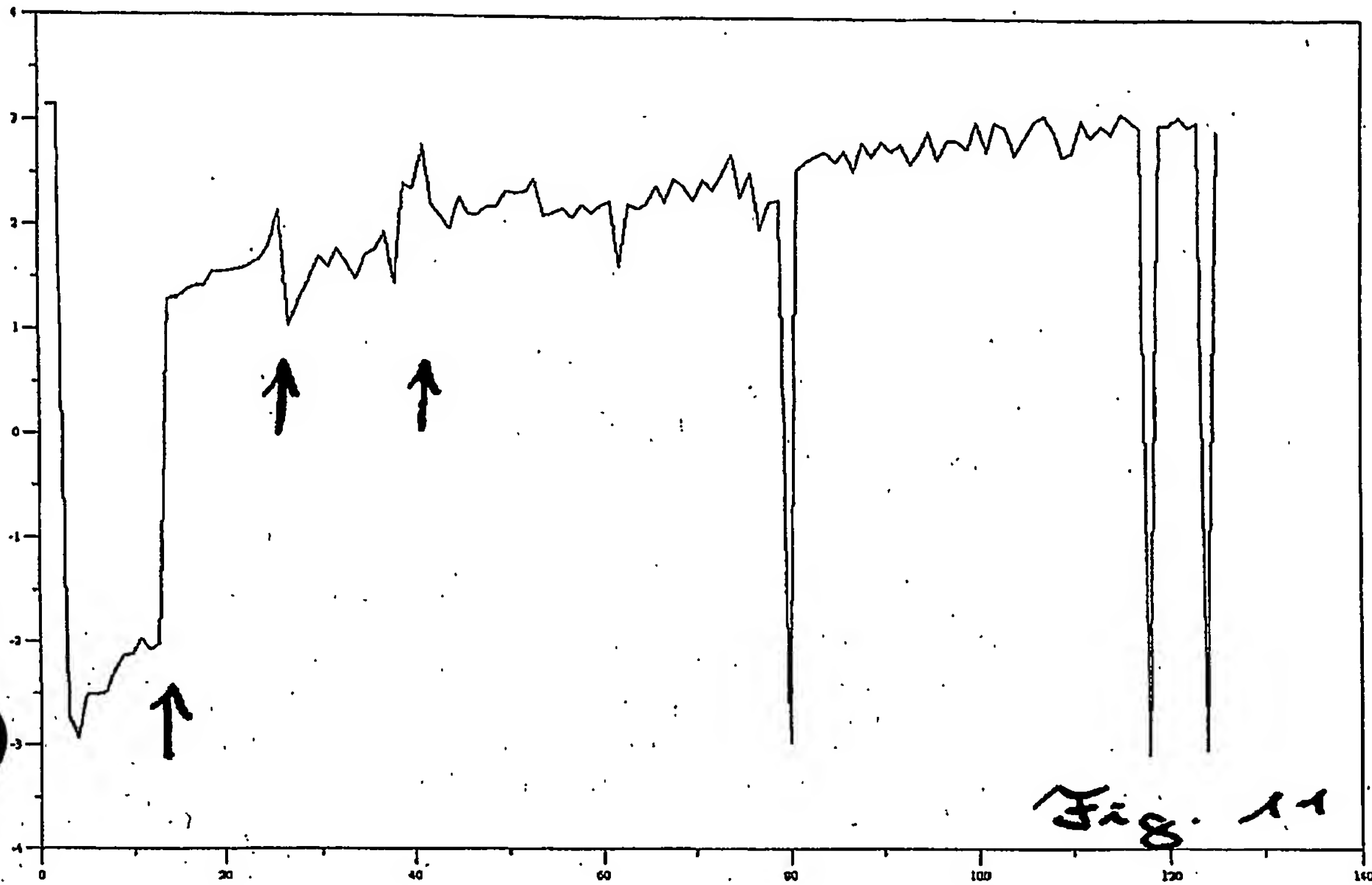
11











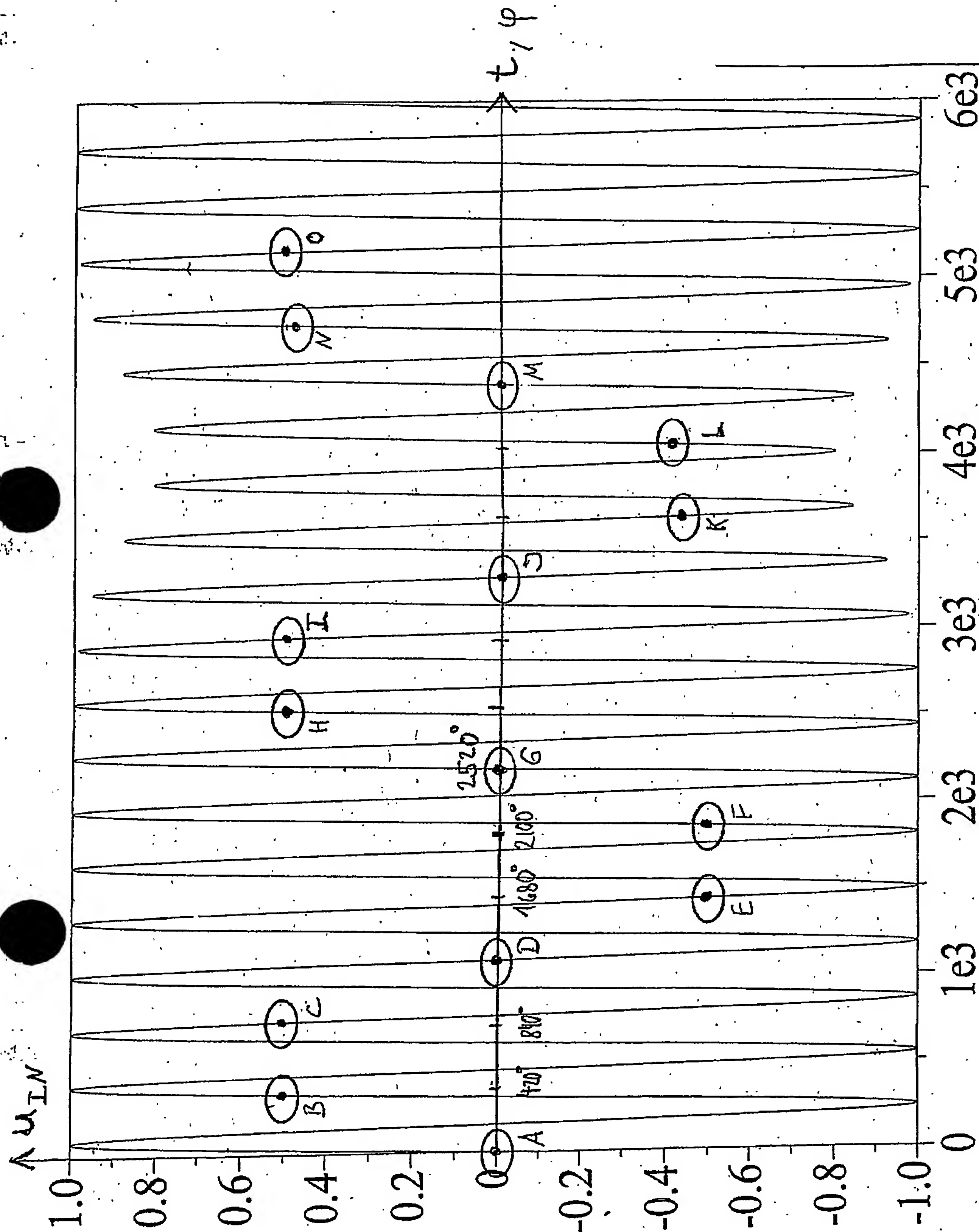


Fig. 13

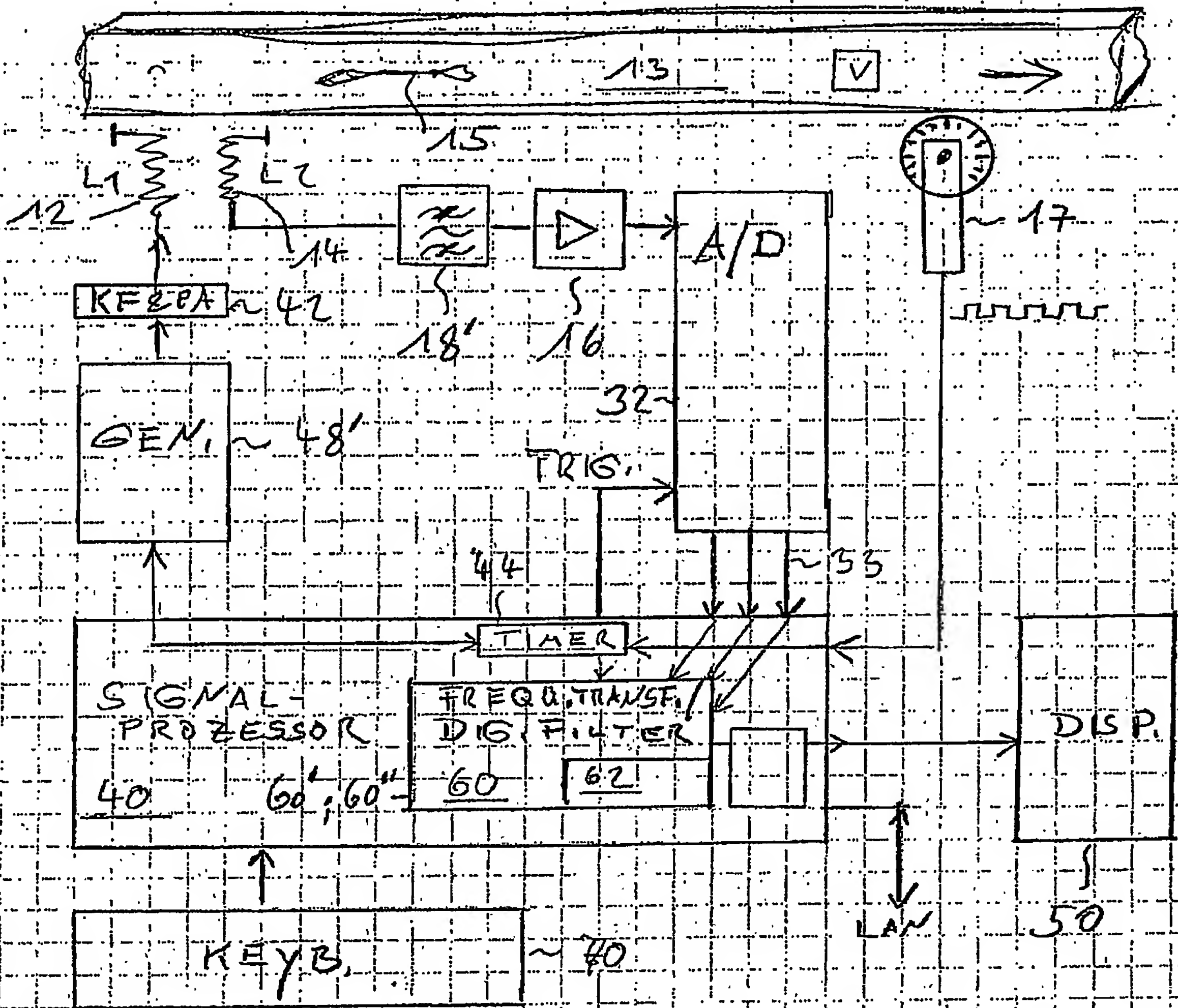


Fig. 14

26

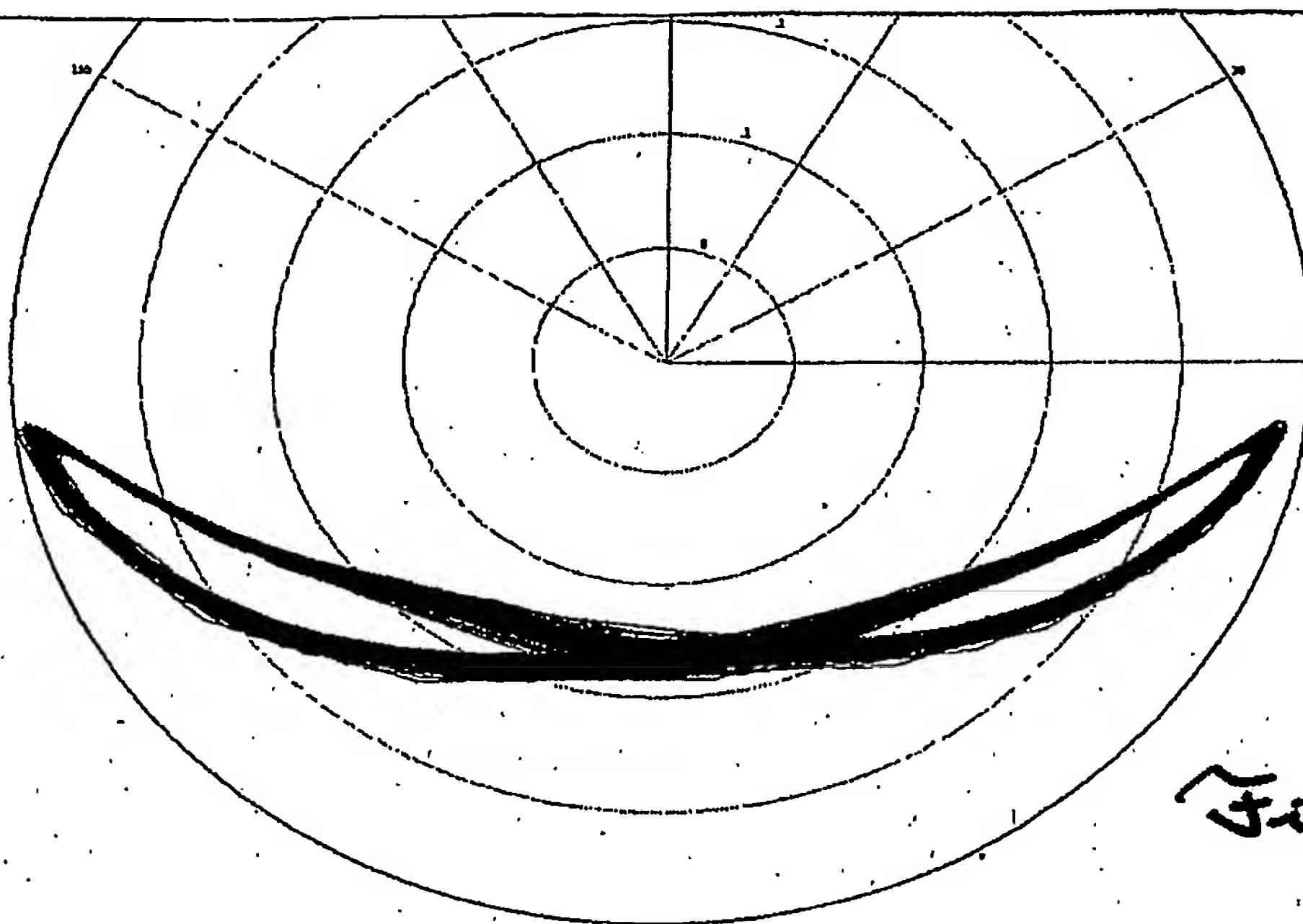


Fig. 15

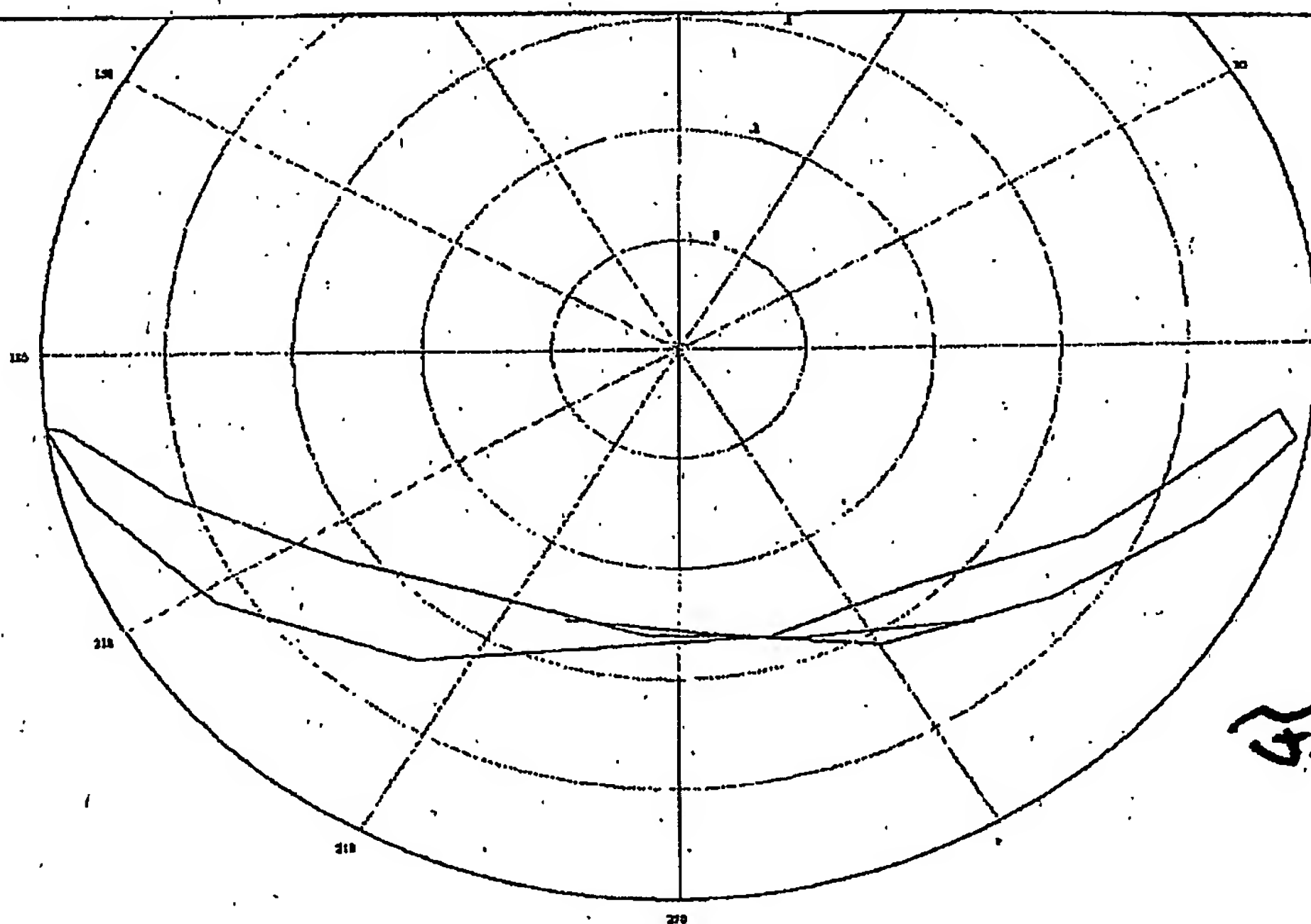


Fig. 16

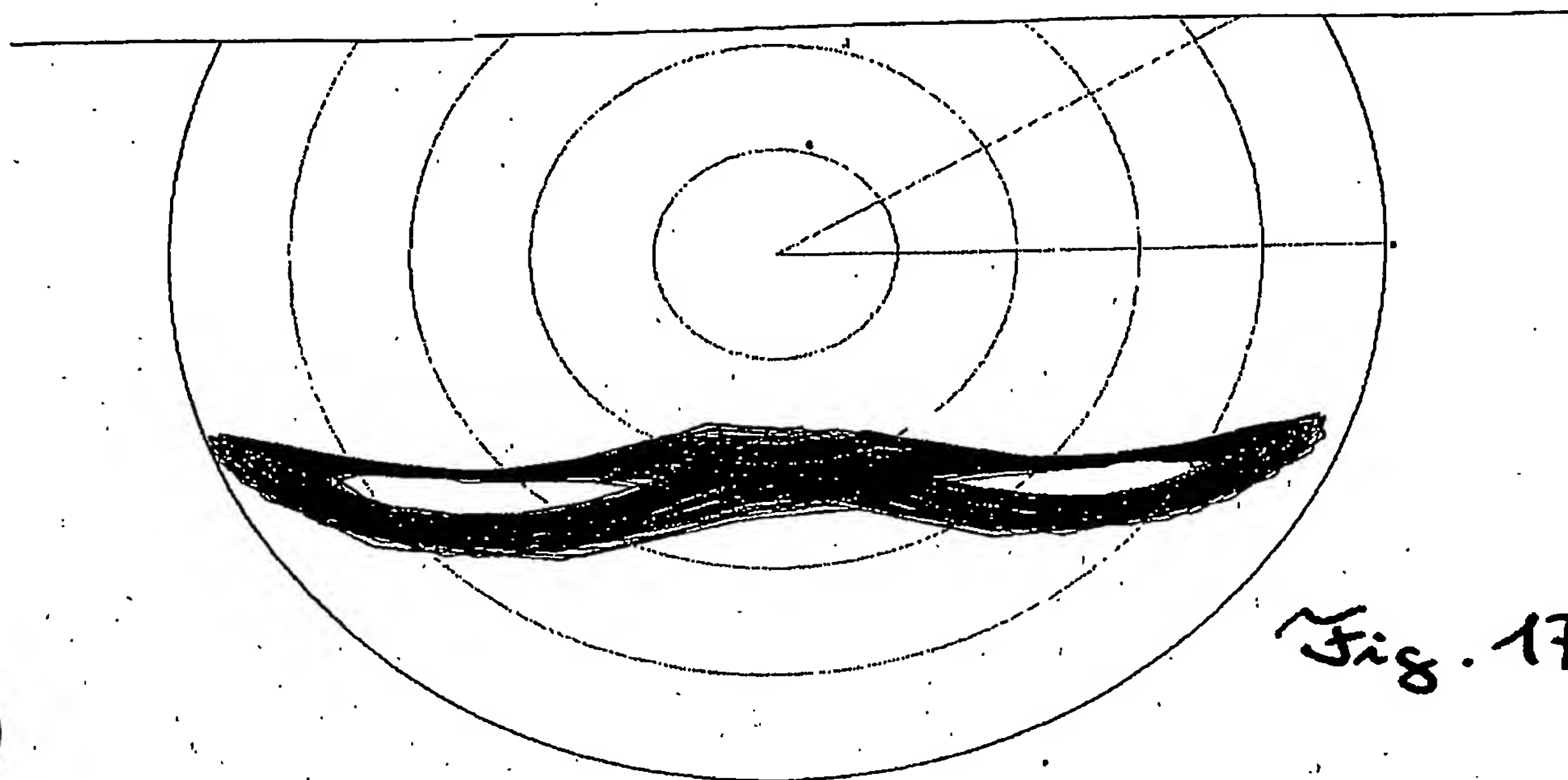


Fig. 17

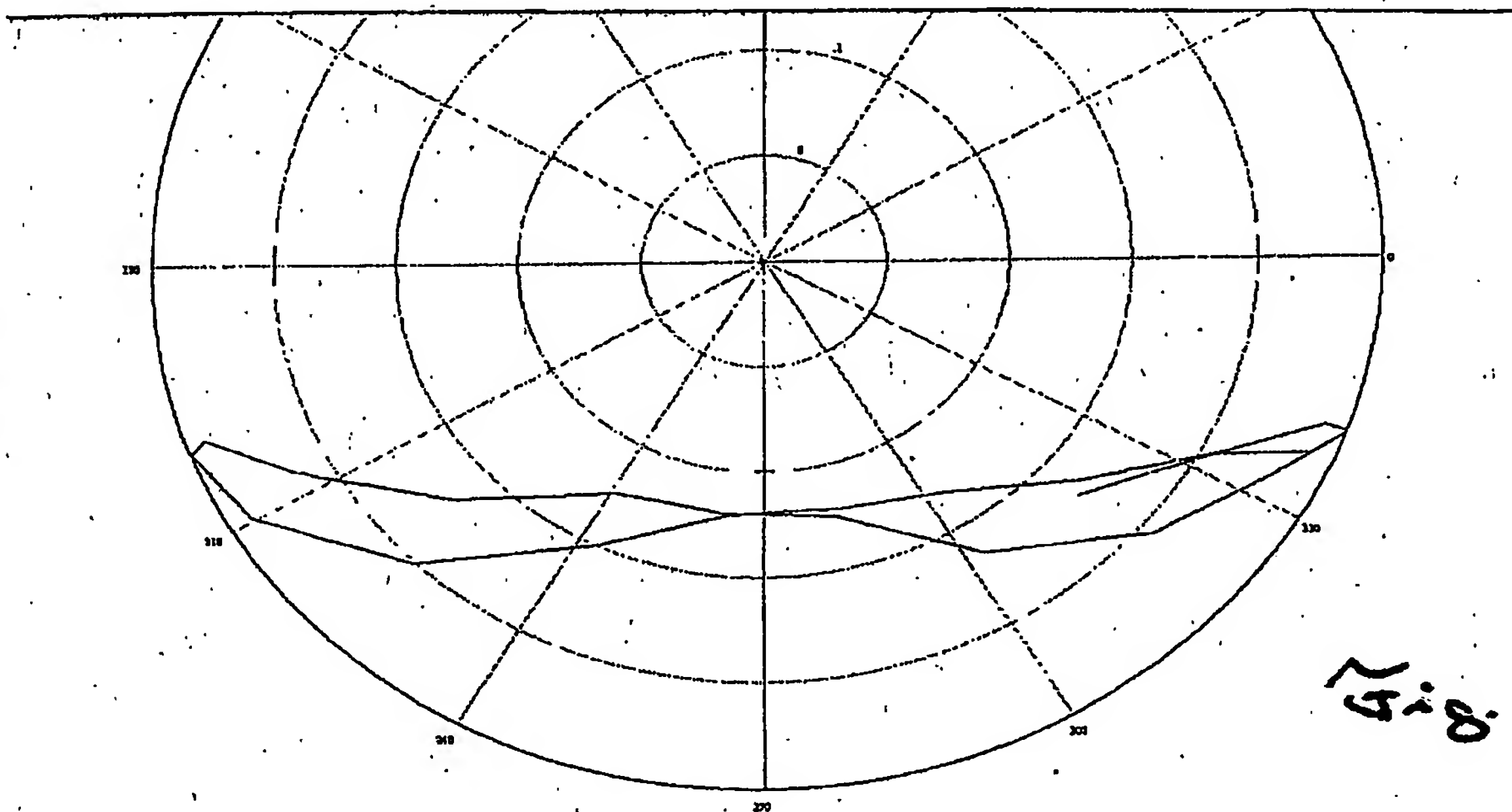


Fig. 18

Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/DE05/001263

International filing date: 18 July 2005 (18.07.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: DE
Number: 10 2004 051 506.9
Filing date: 21 October 2004 (21.10.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 18 October 2005 (18.10.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record.**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☒ **BLACK BORDERS**

☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☐ **FADED TEXT OR DRAWING**

☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.